

一次元圧縮挙動に与える砂の粒子形状および初期間隙比の影響

山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
山口大学大学院 学生員 ○原田孝行 加登文学

1 まえがき 砂のような粒状材料が一次元的な圧縮を受けるとき、ある応力域において急激な圧縮変形を起こすことが知られている。このような応力状態は圧縮降伏応力と呼ばれている。一次元圧縮試験から得られる圧縮降伏応力¹⁾は地盤の沈下量を予測するという点において、また一次元圧縮試験は三軸試験などに比べ、容易に試験を行うことができるという意味でも、工学的に重要なパラメーターといえる。この降伏応力に与える要因として、構成粒子の形状、鉱物、密度および粒度分布などあげられる。本研究では、様々な試料に対し一次元圧縮試験を実施し、砂の形状と供試体の初期間隙比が与える影響についての検討を行った。

2 試験方法

用いた試料はガラスビーズ（G.B.）、角張りのあるガラス（A.G.）、山口県宇部市で採取したまさ土（Masado）、山口県秋穂町で採取した天然の海砂である秋穂砂（Aio）、三河珪砂鉱山で採掘された珪砂（Silica 砂）、豊浦砂である。各試験に用いた試料を表-1 に示す。

一次元圧縮試験は直径 50mm のリング内に、高さ 10mm を目標に供試体を作成し鉛直荷重をひずみ速度 0.1mm/min で増加させた。

3 一次元圧縮挙動の評価

図-1 は表-1 中に示した試料を用いて行った一次元圧縮試験の間隙比 e と鉛直応力 σ_v との関係である。いずれの試料も鉛直応力の増加に伴い間隙比が減少し最終的な間隙比の値に材料による明確な差が認められることがわかる。しかし間隙比

の減少が顕著になり始める応力レベルや、その応力付近の e - $\log \sigma_v$ 曲線の折れ曲がりの程度は材料によって大きく異なることが分かる。そこで、図-2 に示すように以下の手順により折れ曲がり部分の特徴を数量化した。まず e - $\log \sigma_v$ 曲線の傾き C_c と鉛直応力の関係を両対数グラフに描き、 $\log C_c$ - $\log \sigma_v$ 関係の初期部分を直線で近似する。つぎに $\log C_c$ - $\log \sigma_v$ 関係の最大値を $\sigma_{vC_{cmax}}$ とし、初期の直線部分と同じ傾きで $\sigma_{vC_{cmax}}$ を通る直線を描く。それらの中線と e - $\log \sigma_v$ 曲線との交点の鉛直応力を圧縮降伏応力 σ_{vy} とする。R は $\log(\sigma_{vy}/\sigma_{vC_{cmax}})$ を折れ曲がりの程度として定義する。得られた値を表-2 に示す。

4 初期間隙比と粒子形状が一次元圧縮特性に与える影響

図-3 は初期間隙比と σ_{vy} との関係である。図から初期間隙比の増加に伴い σ_{vy} の値は全体的に減少する傾向がみとれる。Silica 砂についてみると粒子径の増加と共に σ_{vy} の値は減少しているものの、それぞれの e_0 の減少に伴い $\log \sigma_{vy}$ の増加の割合は、ほぼ同一であるといえる。A.G., Aio, は、初期間隙比の減少にともなう σ_{vy} の値増加の割合は、Silica 砂や Masado に比べ狭いことがわかる。図-4 は初期間隙比と R の関係を示したものである。この図から初期間隙比の増加に伴い R の値は増加するという傾向がみられ、 e - $\log \sigma_v$ 曲線の折れ曲がりの程度が緩やかになるということを示している。

表-1 用いた試料

試料		粒径(mm)	Gs	C _{max}	C _{min}
ガラスビーズ	G.B.	0.85~1.0	2.490	0.699	0.600
軽骨材	L.A.	0.85~1.0	0.830	1.016	0.713
角張りガラス	A.G.	0.85~1.0	2.505	1.145	0.746
豊浦砂	Toyoura	0.106~0.25	2.636	0.977	0.609
秋穂砂	Ajo	0.85~2.0	2.631	0.971	0.699
まさ土	Masado _{1.4-1.7}	1.4~1.7	2.600	1.216	0.847
Silica砂	Silica _{0.14-1.7}	1.4~1.7	2.639	0.881	0.632
	Silica _{0.4-0.71}	0.6~0.71	2.659	0.968	0.659
	Silica _{0.25-0.3}	0.25~0.3	2.648	1.088	0.666
	Silica _A	0.25~1.7	2.641	0.901	0.547
	Silica _{0.25-2.0}	0.25~2.0	2.655	0.936	0.588

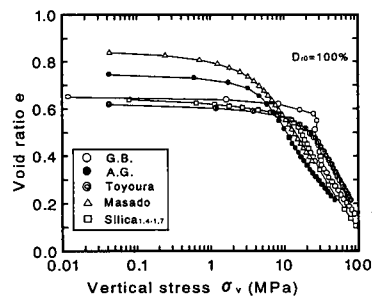


図-1 間隙比と鉛直応力関係

表-2 各試料の σ_{vy} , σ_{vCmax} , R

試料	粒径(mm)	$D_{10}(\%)$	e_0	$\sigma_{vy}(\text{MPa})$	$\sigma_{vCmax}(\text{MPa})$	R
ガラスビーズ	0.85~1.0	100	0.600	26.49	27.33	0.03
		93	0.607	26.94	32.26	0.18
		45	0.648	27.00	27.33	0.01
角張りガラス	0.85~1.0	100	0.744	4.78	10.46	0.78
		86	0.801	3.68	9.55	0.95
		45	0.956	2.08	8.06	1.36
豊浦砂	0.106~0.25	100	0.617	17.46	49.89	1.05
		80	0.683	13.01	39.95	1.12
		45	0.812	8.73	42.21	1.58
秋徳砂	0.85~2.0	100	0.695	5.26	13.34	0.93
		80	0.753	4.79	10.81	0.81
		45	0.845	2.64	9.58	1.29
まさ土	1.4~1.7	100	0.838	2.23	7.44	1.20
		80	0.918	1.82	7.11	1.36
		45	1.045	1.68	9.12	1.69
Silica砂	1.4~1.7	100	0.632	11.94	17.69	0.39
		87.6	0.666	9.63	17.86	0.62
		45	0.769	8.23	15.71	0.65
	0.6~0.71	100	0.659	11.62	31.75	1.01
		96.6	0.666	13.44	34.86	0.95
		45	0.829	8.22	22.46	1.01
	0.25~0.3	100	0.666	16.91	60.23	1.27
		45	0.898	10.41	44.73	1.46
	0.25~1.7	100	0.538	12.22	35.82	1.08
		66.4	0.666	7.92	37.38	1.55
		45	0.742	7.34	33.53	1.52
	0.25~2.0	100	0.576	14.91	41.30	1.01

粒度分布の幅の狭い単一粒径においては、粒子形状が球体に近く粒子表面が滑らかで均一なものほど最大間隙比と最小間隙比の幅は小さくなる。図-5 は間隙比幅と $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線の折れ曲がりの程度を表す R との関係初期間隙比が 0.65~0.7 のものについて示したものである。この図にある $e_{\max}-e_{\min}$ は、この値が 0 に近いものほど均一な粒子となっており、たとえばガラスビーズ (G.B.) についてみると、他の粒子に比べかなり小さな値となっている。この図から $e_{\max}-e_{\min}$ と R の関係は右上がりの直線関係にあることがわかる。、このことは粒子形状が角張っており、粒子表面が粗く、粒子形状が不均一な試料ほど $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線の折れ曲がりの程度は緩やかになることがわかる。

5 まとめ

初期間隙比の値が小さくなるほど圧縮降伏応力は大きくなり $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線が急激に折れ曲がるということがわかった。また粒子の角張りの程度を表す間隙比幅 ($e_{\max}-e_{\min}$) が大きいものほど $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線の折れ曲がりの程度は緩やかになるという結果が得られた。

参考文献

- 1) 加登、足立、中田：”砂の統計分布関数からえられる単粒子破砕特性と一次元圧縮特性” 第 33 回地盤工学会研究発表概要集
- 2) 日下部、森尾、兵動：”砂粒子表面形状が非排水ねじり単純せん断時の変相線と破壊線に及ぼす影響” 土木学会論文報告集 No.541, pp.223-232

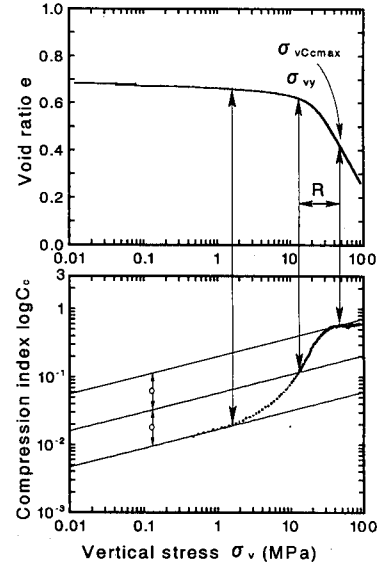


図-2 σ_{vy} , σ_{vCmax} , R の概念図

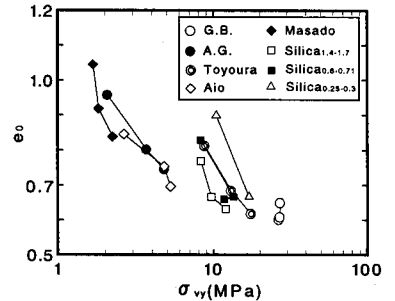


図-3 初期間隙比と σ_{vy} との関係

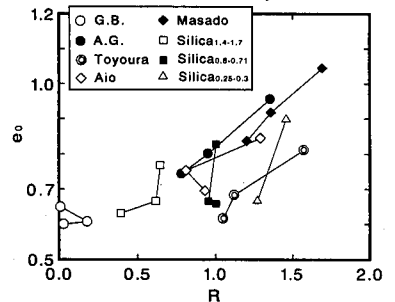


図-4 初期間隙比と R との関係

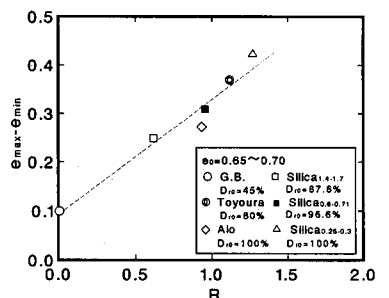


図-5 間隙比幅と R との関係